

**Univerzita Karlova v Praze**

**Přírodovědecká fakulta**

**Ústav pro životní prostředí**

Ekologie a ochrana prostředí

Ochrana životního prostředí

**Posuzování životního cyklu budov**

**Lifecycleassessmentofbuildings**

Bakalářská práce

Zpracovatel: Kristýna Mrkvičková

Vedoucí práce: Doc., Ing. Vladimír Kočí, Ph.D.

květen 2012

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma Posuzování životního cyklu budov vypracovala samostatně s použitím uváděných informačních zdrojů a podkladů a že předložená tištěná verze bakalářské práce je totožná s elektronickou verzí vloženou do SIS.

V Praze dne 24. května 2012

Kristýna Mrkvičková

## **Poděkování**

Děkuji mému školiteli Doc., Ing. Vladimíru Kočímu, Ph.D., za jeho pomoc, cenné rady a trpělivost při psaní této práce. Ráda bych také poděkovala architektonickému studiu V.V.V.Architekti za poskytnutí informací a projekčních výkresů týkajících se obytného souboru U sv. Donáta v Kolovratech.

## **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce bylo zhodnocení použití metody posuzování životního cyklu (LCA) pro oblast stavby budov. Za účelem ověření aplikace této metody byl namodelován obytný dům jako systém jednotkových procesů v profesionálním LCA softwaru a byly zhodnoceny jednotlivé stavební prvky s ohledem na jejich dopady na životní prostředí. Výstupem je přehled jednotlivých indikátorů kategorií dopadu a zhodnocení, které oblasti životního prostředí jsou stavbou nejvíce zasaženy a kde by bylo vhodné přistoupit k optimalizaci.

Pro posouzení byla zvolena standardní novostavba plnící účel rodinného domku. Systém byl namodelován softwarem GaBi 4 a pro posouzení kategorií dopadu byl vybrán charakterizační model CML 2001- Nov09.

Teoretická část se zabývá metodikou LCA, vysvětluje jednotlivé fáze a popisuje kategorie dopadu. Dále je rozebrán světový trend posuzování budov z hlediska celého životního cyklu.

Ke konci studie bylo zjištěno, že největší vliv na životní prostředí má fáze provozní a na tomto výsledku se největší měrou podílí úprava pitné vody.

## **Abstract**

This bachelor thesis is focused on life cycle assessment of building construction. All impacts will be modeled on residential house in professional LCA software. Every single component of the building was evaluated with regard to their impact on environment. The output list each category of indicators and evaluation of the impact. It shows which environmental categories are most affected by building and where it would be useful to optimize it.

The family house presented by the typical new building was chosen for evaluation process. The product system was simulated by the GaBi 4 software tool, then it was evaluated using the impact categories of the CML 2001 - Nov. 09 characterization model.

The theoretical part deals with the LCA methodology, explains the different stages and describes categories of impact. Furthermore, the global trends are discussed in terms of assessing the building lifecycle.

At the end, the LCA study has shown that the biggest influence on the environment is caused by the service life of a product's lifecycle and water treatment contributes the most on this result.

## Obsah

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1       | Úvod.....                                     | 7  |
| 2       | Teoretická část .....                         | 8  |
| 2.1     | Metodika LCA .....                            | 8  |
| 2.1.1   | Fáze LCA.....                                 | 9  |
| 2.1.1.1 | Definice cílů a rozsahu.....                  | 9  |
| 2.1.1.2 | Inventarizační analýza (LCI) .....            | 9  |
| 2.1.1.3 | Hodnocení dopadů životního cyklu (LCIA) ..... | 10 |
| 2.1.1.4 | Interpretace životního cyklu .....            | 10 |
| 2.1.2   | Kategorie dopadu .....                        | 10 |
| 2.1.3   | Metodika LCIA .....                           | 12 |
| 2.2     | Posuzování staveb .....                       | 13 |
| 2.2.1   | Životní cyklus budov .....                    | 14 |
| 2.2.2   | Primární systém.....                          | 14 |
| 2.2.3   | Přístupy k hodnocení staveb .....             | 14 |
| 2.2.4   | Software .....                                | 15 |
| 2.2.5   | Aplikace LCA ve stavebním průmyslu.....       | 16 |
| 2.3     | Experimentální část .....                     | 17 |
| 2.3.1   | Stanovení cíle a rozsahu .....                | 17 |
| 2.3.1.1 | Stanovení cíle .....                          | 17 |
| 2.3.1.2 | Stanovení rozsahu .....                       | 17 |
| 2.3.1.3 | Funkce a funkční jednotka .....               | 18 |
| 2.3.1.4 | Posuzovaný výrobní systém.....                | 18 |
| 2.3.1.5 | Hranice systému .....                         | 18 |
| 2.3.1.6 | Metodika hodnocení dopadů .....               | 19 |
| 2.3.1.7 | Alokace .....                                 | 19 |
| 2.3.2   | Inventarizační analýza .....                  | 19 |
| 2.3.2.1 | Sběr dat .....                                | 19 |
| 2.3.2.2 | Energetické toky .....                        | 19 |
| 2.3.2.3 | Materiálové toky .....                        | 20 |

|         |                                    |    |
|---------|------------------------------------|----|
| 2.3.3   | LCIA.....                          | 21 |
| 2.3.3.1 | Klasifikace.....                   | 21 |
| 2.3.3.2 | Charakterizace.....                | 22 |
| 2.3.3.3 | Analýza citlivosti.....            | 23 |
| 2.3.4   | Interpretace životního cyklu ..... | 24 |
| 3       | Diskuse .....                      | 24 |
| 4       | Závěr .....                        | 26 |
| 5       | Seznam informačních pramenů .....  | 27 |
| 6       | Seznam zkratk .....                | 30 |
| 7       | Přílohy .....                      | 31 |

# 1 Úvod

Budovy jsou nedílnou součástí moderního života. Trávíme v nich přes 80% svého života. Jsou to nejen naše domovy, školy a práce, ale také místa trávení volného času. Právě proto je stavební průmysl esenciální součástí naší společnosti.

Budovy můžeme posuzovat z různých hledisek. Co se týče průmyslu, tak se dotýkají převážně dvou sektorů: stavebního, jehož cílem je vytvořit originální design, co nejlépe plní svůj účel, a ekonomického, protože budovy celkem tvoří jedny z největších investic na mezinárodním trhu.

Ovšem také bychom mohli použít hledisko trvale udržitelného rozvoje, jehož základem jsou tři pilíře: ekonomický, sociální a environmentální. Ačkoliv jsou všechny tři stejně důležité, budu se v této studii věnovat pouze poslednímu z nich, jelikož budovy představují velmi významný problém životního prostředí. Jejich vlivem se do ovzduší uvolňuje mnoho látek, které mohou mít nepříznivý účinek nejen na životní prostředí, ale i na lidské zdraví.

Každý produkt působí na své prostředí během celého svého životního cyklu, ačkoliv ten může být časově velmi proměnlivý. Životní cyklus budov se tedy také skládá z několika specifických etap, z nichž každá ovlivňuje životní prostředí jinou měrou. Tato studie by měla identifikovat, která etapa jejich životního cyklu se na environmentálních problémech podílí nejvíce a která část životního prostředí je nejvíce zasažena. Výsledky by měli pomoci při rozhodnutí, které etapě v budoucnosti věnovat největší pozornost při hledání nových technologických a environmentálně šetrnějších řešení.

Dosažení takových výsledků vyžaduje komplexní přístup. Jednou z metod, jak posoudit dopady budov na životní prostředí, je analytická metoda LCA (posuzování životního cyklu). LCA tedy nepomáhá vybrat ekonomicky nejvýhodnější produkt, ani produkt nejlépe plnící svou funkci, ale ten environmentálně nejšetrnější. Ovšem přesto je zde stále brán ohled i na spotřebitele tím, že se LCA zabývá i životností produktu a jeho spotřebitelskými vlastnostmi.

Jednotlivé fáze životního cyklu budov jsou na první pohled vzájemně propojené. Například čím méně investujeme ve fázi výstavby (třeba do tepelné izolace), tím větší investice musíme očekávat ve fázi užívání (například na vytápění) a obráceně. Proto se zde nabízí otázka: Je lepší investovat do fáze výstavby, anebo až ve fázi užívání? I toto je jedna z otázek, na kterou se tato studie snaží alespoň částečně odpovědět.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Metodika LCA

Na světě existuje mnoho různých analytických metod environmentálního hodnocení. Mezi ty nejznámější patří: LCA (posuzování životního cyklu), LCC (náklady životního cyklu), ERA (hodnocení environmentálních rizik) a další.

Analytická metoda LCA hodnotí možné environmentální dopady nejen výrobků, ale i služeb a technologií, a to během celého jejich životního cyklu. Tyto dopady jsou vyjadřovány pomocí kategorií dopadu na základě materiálových a energetických toků produktového systému.

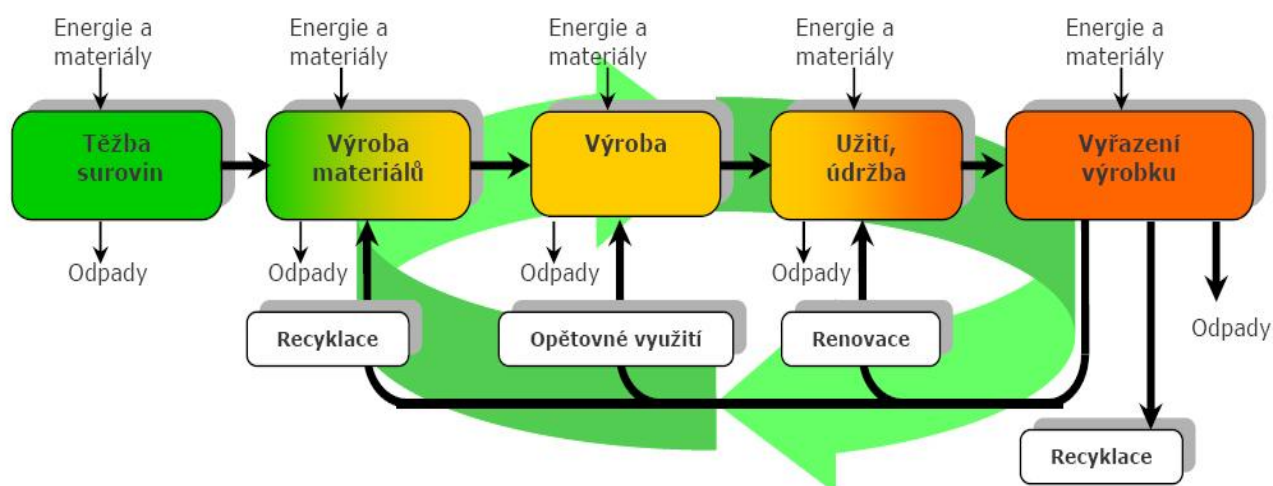
Produktový systém se skládá z jednotkových procesů, které tyto toky spojují, a je charakterizován funkční jednotkou. Referenční tok pak definuje množství produktů potřebných pro splnění zvolené funkce (ČSN EN ISO 14040, 2006). Pomocí stanovení množství a charakteru materiálových a energetických toků je možné určit změny, jež tento systém během své existence vyvolá v životním prostředí (Kočí, 2009).

Nejdůležitější jsou elementární toky, jimiž jsou označeny všechny vstupy a výstupy přesahující hranice mezi produktovým systémem a okolím. Mezi vstupy patří spotřeba přírodních zdrojů, materiálů, surovin a energie, mezi výstupy pak ukládání odpadů a emise do vody, půdy a ovzduší. Každý elementární tok má určitý potenciál dopadu nazývaný charakterizační faktor (Remtová, 2003).

Životní cyklus produktu má čtyři hlavní stadia: zisk surovin, výrobu, užívání a odstranění, z nichž každé má jiné dopady na životní prostředí. Posuzování z hlediska celého životního cyklu by mělo pomoci v identifikaci problémů a jejich následném vyřešení, což zabraňuje pouhému přesunutí problému do jiné kategorie dopadu.

Metodiku LCA popisuje řada norem ISO 14000 (Remtová, 2003). Tyto normy jsou však pouze velmi stručnými standardy sloužícími k hodnocení LCA studií. Tato metoda je mezinárodně uznávaná a v mnoha případech usnadňuje rozhodování jak v soukromé oblasti, tak ve státní i mezinárodní správě. Jeden z mnoha příkladů uplatnění je v rozhodovacím procesu o udělení značky ekologicky šetrného výrobku (ecolabeling) (Kočí, 2010). U některých produktů se dopady životního cyklu na životní prostředí zvažují dokonce již ve fázi návrhu. Obor zabývající se tímto přístupem se nazývá ekodesign.





**Obrázek 1** Použité materiály na stavební konstrukce (Zdroj: Hanus, Koubský, Krčma, 2004)

### 2.1.1 Fáze LCA

Studie LCA se skládá ze čtyř fází, z nichž se každá iterativně podílí i na všech ostatních (Kočí, 2009).

#### 2.1.1.1 Definice cílů a rozsahu

První fází je definice cílů a rozsahu. Jedná se o přesné vymezení hranic systému, tedy rozhraní výrobního systému a jeho okolí, stanovení důvodů pro koho a proč se studie provádí a k čemu budou výsledky použity. Součástí je také stanovení funkce, funkční jednotky referenčního toku. Dále potom určení klíčových předpokladů a samozřejmě metodiky posuzování.

#### 2.1.1.2 Inventarizační analýza (LCI)

Druhou fází je inventarizační analýza. Tedy sběr dat a následný soupis všech elementárních toků spojujících systém se životním prostředím.

Jedním z největších problémů v této fázi je alokace dat, jelikož skoro z každého produktového systému vystupuje více produktů. Alokace nastává, když nevíme, jak jsou některé toky rozděleny mezi tyto produkty (ČSN EN ISO 14040, 2006).

Modelování produktového systému se obvykle provádí pomocí specializovaného softwaru. Konečným výstupem je inventarizační tabulka, ve které jsou uvedena jednotlivá stadia životního cyklu a jejich vlivy na životní prostředí (Kočí, 2009). Všechny hodnoty jsou

vztaženy na funkční jednotku (Kočí, 2010). Funkční jednotka je dána funkcí systému, kterou plní výrobek během uživatelské části svého životního cyklu.

#### 2.1.1.3 Hodnocení dopadů životního cyklu (LCIA)

Třetí fáze hodnocení dopadů životního cyklu určuje velikost negativních efektů způsobených v životním prostředí vlivy z inventarizační analýzy. Skládá se ze tří částí: klasifikace, charakterizace a normalizace.

Úkolem klasifikace je všechny negativní vlivy roztřídit podle svého působení do jednotlivých kategorií dopadu. Během charakterizace jsou tyto dopady kvantitativně zhodnoceny. Její součástí je standardizace, při které jsou pomocí charakterizačních faktorů všechny kvalitativně stejné vlivy přepočítány na ekvivalentní jednotky. Vzniklé hodnoty se nazývají indikátory kategorií dopadu a díky nim je potom možné produktové systémy vzájemně porovnat (Remtová, 2003). Normalizace se provádí pouze u některých studií, jelikož je relativní a odráží regionální či politické preference (Remtová, 2003).

Výsledkem této fáze je charakterizační profil, kde jsou indikátory kategorií dopadu uvedeny již v konkrétních hodnotách a ekvivalentních jednotkách (Kočí, 2009).

#### 2.1.1.4 Interpretace životního cyklu

Čtvrtou fází je interpretace, tedy celkové zhodnocení významu všech zjištění v závislosti na cílech a účelech studie. Její součástí je také provedení kontroly, analýzy citlivosti a sepsání závěrečné zprávy (Kočí, 2010).

### 2.1.2 Kategorie dopadu

Elementární toky produktového systému způsobené antropogenní činností jsou příčinou různých problémů životního prostředí. Tyto problémy označujeme jako kategorie dopadu a můžeme pro ně použít dvě základní rozdělení.

První rozdělení je vytvořeno na základě geografického rozsahu, tedy na globální, regionální a lokální dopady. Mezi globální dopady spadá globální oteplování, úbytek stratosférického ozonu a někdy také toxicita persistentních látek. Všechny látky způsobující tyto dopady jsou mobilní, pomalu se rozkládají a v životním prostředí působí dlouhodobě. Regionálními dopady jsou většinou difuzně šířené látky působící na stejném místě jako jejich příčina (Kočí, 2009). Je to například eutrofizace, acidifikace nebo vznik fotooxidantů. Lokální dopady jsou způsobené konkrétním bodovým zdrojem znečištění, jehož působení dosahuje

maximálně několika kilometrů. Do nich spadá ekotoxicita, úbytek obnovitelných zdrojů, využívání krajiny, produkce odpadů, hluk či humánní toxicita.

Další dělení dopadů je na kategorie surovinové a intervenční (Kočí, 2009). Surovinové představují úbytek potřebných surovin, intervenční účinky elementárních toků ústících do životního prostředí.

Důležitý je také časový rozsah studie, jelikož různé dopady působí v čase odlišně. Zde hraje velký vliv vývoj nových technologií a společenské změny.

Kategorie dopadu rozlišujeme zejména na dopady na zdraví člověka, dopady na ekosystémy a na úbytek surovin. Některé látky mohou nepříznivě působit i ve více kategoriích najednou.

Globální oteplování (GWP) je způsobeno zadrženou energií v atmosféře díky zvýšené koncentraci skleníkových plynů. Tyto změny teplot ovlivňují nejen globální klima, ale i klima kontinentální a lokální. Nejvýznamnějším skleníkovým plynem je oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ). Proto se někdy pro zjednodušené LCA studie používá pouze tato jedna kategorie dopadu, kdy je měřená uhlíková stopa určitého produktu vyjádřena jako  $\text{kg CO}_2\text{-eq}$  (Kočí, 2009).

Úbytek stratosférického ozonu (ODP) je vyjádřen v jednotkách  $\text{kg CFC-11-eq}$  (Kočí, 2009), jelikož freony se díky jejich stálosti v atmosféře významně podílí na odbourávání ozonu. Ozon tvoří vrstvu atmosféry zvanou ozonoféra. Jeho úbytek vede k většímu pronikání ultrafialového slunečního záření na povrch Země, jež je pro ni škodlivé. Způsobuje například zvýšený výskyt kožních onemocnění, úbytek mořského fytoplanktonu, koroze povrchů a snížené výnosy zemědělských plodin.

Acidifikaci (AP) způsobují vodíkové kationty a protony, jež se do prostředí dostávají atmosférickou depozicí, vypouštěním kyselinotvorných látek jako je například oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ) či oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ). Okyselené půdy a vody mají významný vliv na ekosystémy a snižují jejich neutralizační kapacitu. Také dochází k výluhu těžkých kovů, jež jsou díky nízkému pH toxičtější. Jednotkou indikátoru je  $\text{kg SO}_2\text{-eq}$  (Kočí, 2009).

Eutrofizace (EP) představuje zvýšený obsah živin ve vodách, hlavně dusíku (N) a fosforu (P), a z tohoto důvodu se jako jednotka používá  $\text{kg PO}_4^{3-}\text{-eq}$  (Kočí, 2009). Eutrofizaci způsobuje produkce odpadních vod a intenzivní zemědělská výroba. Nejzávažnějším důsledkem je narušení světelného a kyslíkového režimu vod, což má za následek zarůstání hladiny vodním květem a zhoršení kvality pitné vody.

Fotooxidanty (POCP) jsou oxidující látky vzniklé z těkavých organických látek (VOC) a oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) za přítomnosti slunečního záření a OH radikálů. Je to například troposférický

ozon (O<sub>3</sub>) či peroxyacetylnitrát (PAN). Tyto látky působí toxicky nejen na živé organismy, ale i na řadu materiálů. Vznikají především v okolí průmyslových aglomerací s intenzivní dopravou. Výslednou jednotkou této kategorie je C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-eq (Kočí, 2009).

Humánní toxicita (HTP) popisuje míru toxicity látek jejich srovnáním s látkou referenční. V metodice CML je referenční látkou 1,4-dichlorbenzen, proto je jednotkou této kategorie kg 1,4DCB-eq (Kočí, 2009). Toxické látky mohou mít na člověka letální, mutagenní, genotoxické, neurotoxické a další účinky. Vzhledem k rozdílným účinkům a způsobům působení je tato kategorie poměrně těžko charakterizovatelná. Nejvyšší přípustné koncentrace nejnebezpečnějších látek jsou dány legislativou. Pro určení míry toxicity se udává parametr přijatelné denní dávky (ADI).

Ekotoxicita (ETP) ukazuje toxické působení látek na přírodní ekosystémy. Mezi tyto látky se řadí kovy, organické látky z průmyslových a komunálních odpadů a pesticidy. Přestože v LCA zatím nebyla zohledněna, bylo by vhodné sem také započítat farmaka, a to kvůli jejich vysoké persistenci v prostředí a biologické účinnosti. Konečným důsledkem je snížení biodiverzity a produkční schopnosti ekosystémů. Jednotkou je stejně jako u humánní toxicity 1,4DCB-eq (Kočí, 2009).

Úbytek surovin (ADP) zahrnuje využívání neobnovitelných i obnovitelných abiotických surovin. Důsledkem této kategorie je omezená dostupnost surovin spolu s narušováním a ničením ekosystémů. Referenční surovinou této kategorie je antimon (Sb), a proto je jednotkou kg Sb-eq (Kočí, 2009).

Kromě těchto základních kategorií dopadu existují ještě specifické používané pouze pro některé studie LCA. Mezi ně patří využití krajiny, hluk, zápach, ionizační záření a odpadní teplo.

### **2.1.3 Metodika LCIA**

Metodiky LCIA existují dvojího typu midpointové založené na měřitelných vlastnostech elementárních toků a endpointové popisující konkrétně pozorované poškození prostředí (Kočí, 2009). Mezi midpointové patří EDIP 97, CML-IA a TRACI, mezi endpointové Eco-indicator 99, EPS 2000 a Ekofaktor (Kočí, 2009).

Většina těchto metodik je běžnou součástí LCA softwaru. Nejnovějším přístupem v oblasti LCA je snaha o sjednocení midpointové a endpointové metodiky. Tento přístup byl uplatněn při vývoji metodiky IMPACT 2002+ (Jolliet, 2003) a ReCiPe (Goedkoop, 2009).

V této studii byla použita metodika CML-IA, jelikož je nejvhodnější pro geografickou oblast Evropy a její midpointová charakteristika je založena na více vědecky podložených

modelech než charakteristiky endpointové. Poškození životního prostředí je tedy vyjádřeno v ekvivalentních jednotkách referenční látky.

## **2.2 Posuzování staveb**

Stavební průmysl zaznamenal v čase obrovský vývoj ve snaze zlepšit kvalitu života. Za centrum veškerého soustředění byl však vždy považován architektonický aspekt a již nikdo nevěnoval pozornost dopadům na životní prostředí, jež se během životního cyklu postupně objevují (Forsberg et al., 2004).

Tradičně byly používány lokální materiály s malým vlivem na životní prostředí. Dnes se ale používají materiály jako cement, beton, hliník či PVC, které jsou mnohem náročnější energeticky a také mají podstatně vyšší environmentální dopady (Bribian, Uson, Scarpellini, 2009).

Do budoucna je důležité najít rovnováhu mezi stavebním průmyslem a životním prostředím tak, aby spolu mohly koexistovat. Prozatím je na světě 40% celkové spotřeby energie spojeno právě se stavebním průmyslem (Bribian, Uson, Scarpellini, 2009), stejně jako 44% světové spotřeby materiálu (Erlandsson, Borg, 2003). Největší spotřeba energie je obvykle zapříčiněna vytápěním, ale hned na druhém místě je stavební materiál, který může spotřebovat až 60% tepla (Bribian, Uson, Scarpellini, 2009).

Obvykle je metoda LCA chápána jako nástroj k posuzování konzumních produktů a jejich designu (Verbeeck, Hens, 2010). Je ale také schopna vyčíslit spotřebu energie a emisí znečišťujících životní prostředí pro každý typ budovy, výrobní metodu nebo stavební materiál, a to stanovením rozsahu analýzy ve všech fázích jejich životního cyklu (Lee, Tae, Shin, 2009).

Budovy se však od konzumních produktů značně liší, a to hlavně jejich dlouhou životností a dalšími specifickými charakteristikami, jako je například tepelná pohoda či dostatek světla. Aspekt času je také velmi podstatný, protože vývoj nových technologií může lehce změnit environmentální dopady přímo uprostřed provozní fáze (Erlandsson, Borg, 2003). Zhodnocení budovy jako celého systému je už komplikovanější. Použití pro konkrétní budovy je pak ještě náročnější kvůli nesjednocené a neúplné metodologii a nedostatečným databázím, a proto je často omezeno pouze na výpočet spotřeby energie a produkci emisí CO<sub>2</sub> (Lee, Tae, Shin, 2009).

### **2.2.1 Životní cyklus budov**

Životní cyklus samotných budov se skládá ze čtyřzákladních fází: získání surovin, stavba, užívání a demolice. Součástí fáze užívání je také údržba, a to jak rutinní, tak dlouhodobá, která je většinou pro svůj větší rozsah významnější (Lee, Tae, Shin, 2009).

Životní cyklus budov však vykazuje na rozdíl od klasických konzumních výrobků jisté nepravidelnosti. Je pravda, že čtyři základní fáze jsou stejné jako u ostatních produktů, ovšem v případě staveb tato skutečnost neodpovídá realitě. Většina LCA metod totiž nebere v potaz fázi rekonstrukce či přestavby, kterou si téměř každá budova projde, než dosáhne konce svého životního cyklu (Verbeeck, Hens, 2010).

Životní cyklus by tedy měl být rozdělen na jednotlivé sekvence: stavba, údržba, přestavba, přístavba, provoz a konec životního cyklu zahrnující demolici a recyklaci. Samostatné hodnocení těchto sekvencí, pak umožňuje v případě potřeby některou ubrat či naopak přidat tak, aby celek komplexně popisoval celý životní cyklus a splňoval účel studie (Erlandsson, Borg, 2003).

### **2.2.2 Primární systém**

Důležité pro budoucí vývoj je také specifikování funkční jednotky tak, aby studie byly navzájem porovnatelné. Vzhledem k tomu, o jak komplexní a dynamický systém se ale jedná, to není vůbec jednoduché. K tomu abychom ji mohli definovat, je potřeba určit primární systém, jež bude popisovat každou budovu (Erlandsson, Borg, 2003).

Pro definici primárního systému se nejprve objevila snaha najít hranici mezi environmentálními dopady zapříčiněné samotnou budovou a dopady způsobené chováním jejích obyvatel. Toto ovšem není nutné v případě, že funkční jednotka vychází z úrovně budovy jako služby, a ne z její fyzické konstrukce. To znamená, že environmentální dopady budovy jsou ovlivněny jejím užíváním a zároveň závislé na jejím designu. Takže větrání, vytápění a zásoba vody bude do primárního systému započítána, na rozdíl od například transportu jejích obyvatel. Ovšem tato finální definice primárního systému by měla vzniknout až na základě praxe, a ne podle teoretické metodologie (Erlandsson, Borg, 2003).

### **2.2.3 Přístupy k hodnocení staveb**

Momentálně existují dva hlavní přístupy k hodnocení staveb (Erlandsson, Borg, 2003). Prvním je „přístup zespoda“, soustředící se na výběr stavebního materiálu, který jednoznačně převažuje. Patří sem například ATHENA či BEES. Druhým je „přístup shora“, jež za výchozí bod

považuje celou budovu. Typickým představitelem této skupiny je Envest zabývající se hlavně projektovou fází.

Další rozdělení přístupů vzniklo na základě toho, jestli je posuzovaný systém fixní nebo variabilní (Erlandsson, Borg, 2003). Nejprve to je přístup APE (Hodnocení alternativního produktu), jež vychází z originální metody LCA tak, jak je popsána v ISO normách s fixním systémem jako předmětem posuzování. Druhá metoda EFD (Požadavek environmentální funkce) je alternativním řešením, které hledá k již daným vlastnostem a omezeným environmentálním dopadům ten správný systém.

#### **2.2.4 Software**

V současné době existuje několik softwarů založených na metodě LCA, jež se snaží usnadnit hodnocení dopadů různých produktů, služeb a technologií. Tyto softwary lze rozdělit na tři typy (Lee, Tae, Shin, 2009). První z nich jsou programy schopné provádět LCA jako je BEES, EcoQuantum, GaBi či Bousted. Druhé, například Athena či Envest, mají za cíl posouzení spotřeby energie. A třetí typ tvoří programy BREEAM, GBTool nebo ECOTECT, jež slouží jako nástroje pro rozhodování při návrhu etap životního cyklu a hodnotí emise do životního prostředí z hlediska udržitelnosti.

Tyto softwary mohou být také rozříděny na základě metod používaných pro LCI databáze stavebních materiálů. Navzájem se liší svým vývojem a programovou funkcí. Společným znakem naopak je, že většinou bývají použity pouze pro některé části LCA, a ne pro celý proces (Lee, Tae, Shin, 2009).

Prvním krokem k dokonalému softwaru je vytvoření rámcového projektu ENSLIC (Enslibuilding, 2007-2009), jehož prvotním cílem je propagace LCA v evropském stavebním průmyslu a zmapování problematických částí při hodnocení staveb. Jako největší překážka se ukázala velká náročnost na databázi programu, cena a časová náročnost.

Jedním z návrhů, jak také zvýšit zájem o LCA je větší kompatibilita s již existujícími architektonickými programy jako je například CAD (Malmqvist et al., 2011).

|                                     | ATHENA  | Envest | Eco-Quantum 3                        | BEAT 2000                            | BEES   |
|-------------------------------------|---|--------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Fixní počet fází životního cyklu    | ano   | ano    | ano                                  | ano                                  | ano  |
| Fáze životního cyklu                | těžba, výroba, užívání, konec životního cyklu | -      | výroba, užívání, nakládání s odpadem | konstrukce, údržba, provoz, demolice | pořízení surovin, výroba, užívání, konec životního cyklu |
| Metodika hodnocení kategorií dopadu | ATHENA  | CML    | CML                                  | -                                    | BEES   |
| Zahrnuje:                           |   |        |                                      |                                      |  |
| zásoby vody                         | ne  | ano    | ano                                  | ne                                   | ne   |
| čištění odpadních vod               | ne  | ne     | ano                                  | ne                                   | ne   |
| vytápění                            | ano   | ano    | ano                                  | ano                                  | ne   |
| ventilace                           | -   | ano    | ano                                  | ano                                  | ne   |
| údržba                              | ano   | ano    | ano                                  | ano                                  | ano  |
| nakládání s odpady                  | ne  | ne     | ano                                  | ne                                   | ne   |
| provoz a údržba pozemku             | ne  | -      | -                                    | ne                                   | ano  |
| kvalita vnitřního ovzduší           | ne  | ne     | ne                                   | ne                                   | ano  |
| závislost v čase                    | ano   | ne     | ne                                   | ne                                   | ne   |
| geografické rozdíly                 | ano   | ano    | ne                                   | ne                                   | ne   |

**Tabulka I** Porovnání jednotlivých LCA programů (Zdroj: Erlandsson, Borg, 2003)

### 2.2.5 Aplikace LCA ve stavebním průmyslu

Studií, které se zabývají budovami v kontextu LCA, je poměrně hodně. Ale většina z nich se zaměřuje pouze na konkrétní emise, fázi užívání nebo řeší dokonce ještě specifitější problémy. Přesto se již od počátku 21. století začínají objevovat i takové, které budovu hodnotí jako celý systém, například francouzská studie (Peuportier, 2001), novozélandská (Mithraratne, 2004) či švédská (Erlandsson, Borg, 2003).

Studie z Belgie (Verbeeck, Hens, 2010) prokazuje, že v podmínkách mírného pásu výsledné dopady nezávisí na typu konstrukce. Jedinou výhodu přiznává lehkým dřevěným konstrukcím, a to možnost recyklace a opětovného využití, což ve finále snižuje jejich negativní dopad na životní prostředí.

Příkladem úspěšné aplikace LCA ve stavebním sektoru jsou environmentální deklarace, EPD či ISO 14025 (Erlandsson, Borg, 2003).



Dalším krokem k energeticky efektivním budovám je vývoj evropských certifikačních procesů na základě evropské směrnice (Directive 2010/31/EU) přenesené do vnitrostátního práva. Bohužel ale většina z nich k výpočtům LCA metodu nepoužívá (Bribian, Uson, Scarpellini, 2009). Proto se občas může stát, že i přestože se sníží energetická spotřeba budovy, celkové emise do životního prostředí vzrostou.

Zařazení metody LCA do certifikačních procesů by pomohlo ke vzniku udržitelných staveb s nízkou spotřebou energie, a podpořilo tak environmentální inovace ve stavebním průmyslu jako biokonstrukce, lokální recyklovatelné materiály či využití dešťové vody (Bribian, Uson, Scarpellini, 2009).

Důležité ale je, aby tyto certifikace byly natolik pružné, že se dokážou přizpůsobit každé budově. Stavby totiž nejsou na svém okolí nezávislé a stejně jako třeba geografická poloha je ovlivňuje i jejich logistický koncept (Erlandsson, Borg, 2003).

## **2.3 Experimentální část**

### **2.3.1 Stanovení cíle a rozsahu**

#### **2.3.1.1 Stanovení cíle**

Důvodem zpracování této studie je porovnání jednotlivých částí životního cyklu budovy a zjištění, která z nich je z hlediska životního prostředí nejnáročnější.

Za modelovou budovu byl zvolen obyčejný rodinný domek, protože je pro českou kulturní krajinu nejtypičtější, a tudíž má největší vypovídající hodnotu. Tato studie by neměla odhalit pouze nejnáročnější fázi, ale také by měla ukázat, jak moc velkou měrou se tato fáze na narušování životního prostředí podílí. Toto zjištění by poté mohlo sloužit jako výchozí bod pro další studie.

#### **2.3.1.2 Stanovení rozsahu**

Pro studii jsem si vybrala jeden z rodinných domů obytného souboru U sv. Donáta v Praze Kolovratech, jehož projektantem je JP Architekt. Jedná se o novostavbu z roku 2006. Zastavěná plocha zabírá 91,2 m<sup>2</sup>. Dům je navržen nepodsklepený s dvěma nadzemními podlažími o světlé výšce místností 2,6m.

Dům je založen na základových pasech z monolitického betonu a betonové desce. Nosné svislé konstrukce jsou z cihelného systému Porotherm s tenkovrstvou omítkou. Příčky jsou zděné z příčkovek. V některých místnostech je použit SDK podhled. Vnitřní povrchy stěn pokrývá vápenná omítka, popřípadě keramický obklad.

Nosnou stropní konstrukci tvoří monolitická železobetonová deska. Střecha je sedlová se sklonem 15°, klasickým dřevěným krovem a krytinou z titanzinkového plechu. Jako slunolam slouží dřevěná pergola nad vstupem na terasu.

Podlahy v koupelnách a na WC jsou navrženy z keramické dlažby. Ostatní jsou laminátové. Jako izolace proti vodě a radonu jsou použity pásy Fatrafol a parozábrana z Pe fólie, k zateplení pak Orsil a polystyren.

Schodiště je vyrobeno z monolitického železobetonu s dřevěnými stupni jako obkladem. Pro okna byla zvolena eurookna s izolačním dvojsklem a pro vnitřní dveře dýha s obložkovou zárubní. Veškeré klempířské konstrukce jsou provedeny v titanzinkovém plechu, jen zábradlí jsou ocelová.

Co se týče technického zařízení budovy, tak odpadní a vodovodní potrubí je vyrobeno z plastu a pouze plynovod je z trubek ocelových. Otopnou soustavu tvoří měděné potrubí, plastové podlahové trubky, ocelové deskové radiátory a žebříková tělesa a měděný podlahový konvektor.

#### 2.3.1.3 Funkce a funkční jednotka

Funkcí v této studii je zajištění bydlení. Zajištění bydlení zahrnuje střechu nad hlavou a základní podmínky komfortního života, kterými jsou: teplo, voda a její čištění, elektrická energie potřebná k chodu průměrné domácnosti a nakládání s odpady. Funkční jednotkou je pak: zajištění bydlení čtyřčlenné rodiny na 50let.

#### 2.3.1.4 Posuzovaný výrobní systém

Do výrobního systému bylo zařazeno: výroba materiálů a jejich transport, výstavba, úprava vody na pitnou, čištění odpadních vod, výroba elektrické energie a výroba plynu.

Systém je znázorněn v příloze 1. Na tomto schématu jsou vyznačeny jednotkové toky a procesy.

#### 2.3.1.5 Hranice systému

Přestože životní cyklus budovy se skládá ze čtyř hlavních fází, a to zisku surovin, výstavby, užívání a demolice, budu se v této studii zabývat pouze fází výstavby a provozu, přičemž fáze výstavby zahrnuje výrobu jednotlivých materiálů. Demolice zde není zahrnuta hned z několika důvodů.

Prvním je, že návrhová životnost budov je padesát let, ovšem s demolicí po padesáti letech se v běžném životě nesetkáváme. Spíše se jedná o různé rekonstrukce a přestavby, které

mohou prodloužit životnost stavby až o stovky let. Nejstarší dochovaná budova v České republice pochází již z 10. století (rotunda sv. Petra a Pavla).

Druhým důvodem je, že moje studie je založena na reálných a doložitelných údajích, ale protože se jedná o novostavbu, bylo by náročné zjistit reálná data pro demolici.

#### 2.3.1.6 Metodika hodnocení dopadů

Pro hodnocení dopadů byl použit charakterizační model CML2001 – Nov. 09. V kategoriích dopadu je tedy zahrnuto: úbytek abiotických zdrojů, acidifikace, eutrofizace, ekotoxická sladkovodní, terestrická a mořská, globální oteplování, humánní toxicita, tvorba fotooxidantů a úbytek stratosférického ozonu.

#### 2.3.1.7 Alokace

Ve studii se vyskytl jeden případ alokace. Při nakládání s odpadem formou spalování vzniká pozitivní energetický tok. Tato alokace byla vyřešena nahrazením tokem inverzním.

### 2.3.2 Inventarizační analýza

Inventarizační data byla sestavena z údajů dostupných v programu GaBi. Ten obsahuje velmi rozsáhlou a kvalitně zpracovanou databázi. Některá data byla pro naši potřebu mírně modifikována tak, aby lépe odpovídala skutečnosti. Chybějící údaje byly popřípadě doplněny z dalších zdrojů.

#### 2.3.2.1 Sběr dat

Data byla získána z projektové dokumentace stavby. Byly zjištěny veškeré použité materiály a přepočteny na stejnou jednotku. Energetické toky byly spočítány podle tabulkových hodnot tak, aby odpovídaly průměrné čtyřčlenné rodině. Průměrné množství odpadní vody bylo zjištěno z Českého statistického úřadu.

#### 2.3.2.2 Energetické toky

Pro celkovou spotřebu vody ve čtyřčlenné rodině a při průměrné spotřebě 112 l/os/den platí, že průměrná denní spotřeba je 448 l/den a průměrná roční spotřeba vody pak 164 m<sup>3</sup>/rok. Teplá voda je ohřívána plynovým kotlem o výkonu 20kW se zásobníkem teplé vody.

Maximální hodinová spotřeba plynu je 2,4 m<sup>3</sup>/h, z čehož je vypočtena roční spotřeba plynu na 2100 m<sup>3</sup>/rok.

Dům je zasazen v normální krajině a má nechráněnou polohu. Venkovní výpočtová teplota činí -12°C, tepelné ztráty 7,5 kW a roční spotřeba tepla 18 MWh/rok.

Průměrné množství splaškových vod je 38,5 m<sup>3</sup>/os/rok, tedy 154 m<sup>3</sup>/rok na celou rodinu. Stejně bylo počítáno i pro nakládání s odpady. Průměrná produkce komunálního odpadu je 301 kg/os/rok, tedy 1204 kg/rok na celou rodinu.

Spotřeba elektrické energie byla zjištěna na základě průzkumu. Zjistila jsem průměrnou roční spotřebu v osmi čtyřčlenných domácnostech. Výsledný průměr odpovídá hodnotě 6000 kWh/rok.

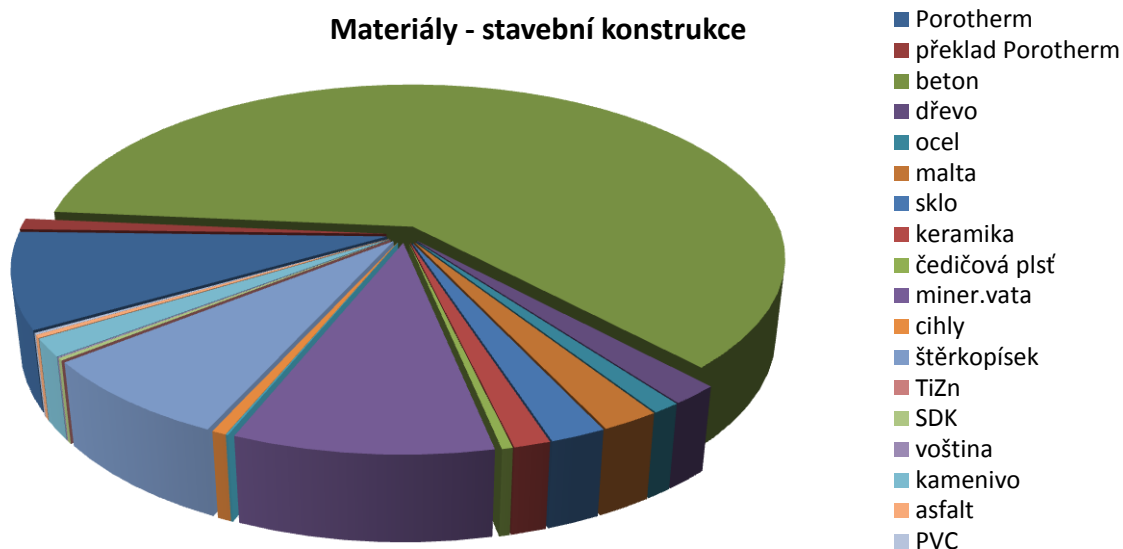
Stavba trvala celkem 11 měsíců. Dovozní vzdálenost potřebného materiálu byla zprůměrována na 50 km, tedy 100 km se započtenou zpáteční cestou. Průměrná spotřeba nákladních aut je uvedena jako 32 l na 100 km. Dále byla započtena průměrná spotřeba bagru 15 l/hod při kopání základů.

### 2.3.2.3 Materiálové toky

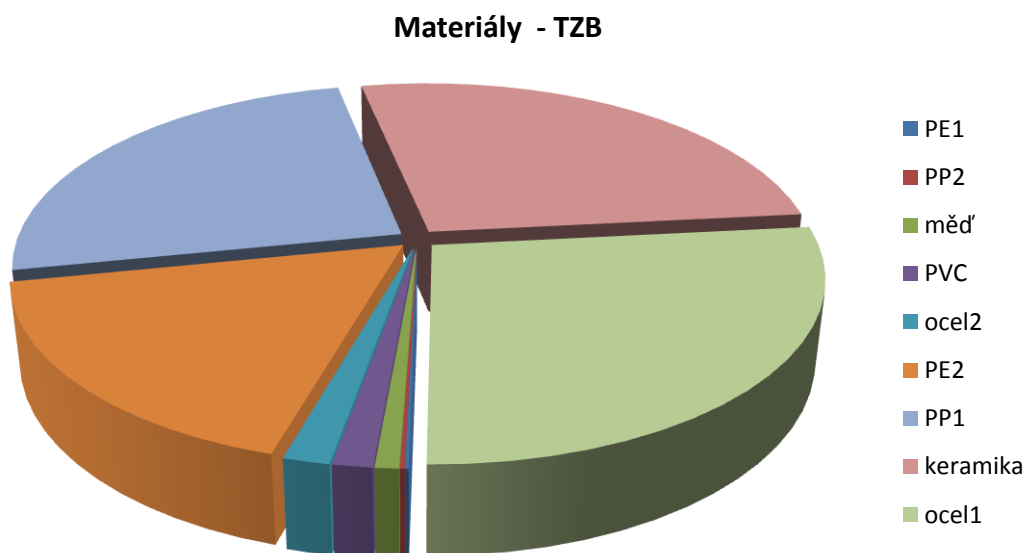
Jednotlivé komponenty domu byly rozděleny podle materiálů a přepočteny na jejich hmotnost. Jejich souhrn je v tabulce II.

| Materiál          | Hmotnost [kg] | Materiál       | Hmotnost [kg] | TZB             | Materiál | Hmotnost [kg] |
|-------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|----------|---------------|
| cihly             | 1306,80       | PVC            | 381,63        | kanalizace      | PP1      | 1404          |
| asfalt            | 699,33        | Štěrkopísek    | 18620         | kanalizace      | PVC      | 79,00         |
| beton             | 152429,63     | Kamenivo       | 4050          | vodovod         | PP2      | 9,14          |
| dřevo             | 4411,20       | Voština        | 210           | vodovod         | PE1      | 7,47          |
| ocel              | 2520          | TiZn           | 0,62          | sanita          | keramika | 1499,61       |
| malta             | 5238          | SDK            | 537,50        | plynovod        | ocel1    | 1516,22       |
| Porotherm         | 21691,44      | Sklo           | 5020,60       | otopná soustava | ocel2    | 92,44         |
| překlad Porotherm | 2501,62       | minerální vata | 23287,63      | otopná soustava | měď      | 46,59         |
| čedičová plst'    | 996,45        | Polystyren     | 210,19        | otopná soustava | PE2      | 980,00        |
| keramika          | 3315,23       |                |               |                 |          |               |

**Tabulka II** Použité materiály na stavbu budovy



**Obrázek 2** Použité materiály na stavební konstrukce



**Obrázek 3** Použité materiály na TZB

### 2.3.3 LCIA

#### 2.3.3.1 Klasifikace

Všechny emise byly roztříděny a přiřazeny jednotlivým kategoriím dopadu dle svého účinku pomocí softwaru GaBi. Na základě charakterizačních faktorů provedl program charakterizaci všech dat. Ve výsledné charakterizační tabulce jsou uvedeny kategorie dopadu podle metodiky CML2001 – Nov. 09.

### 2.3.3.2 Charakterizace

| Kategorie dopadu              | Označení      | Indikátor kategorie     | Celkem       | Fáze I. stavba | Fáze II. užívání |
|-------------------------------|---------------|-------------------------|--------------|----------------|------------------|
| Úbytek abiotických zdrojů     | ADP elements  | kg Sb-Eq.               | 0,60         | 0,42           | 0,18             |
|                               | ADP fossil    | MJ                      | 14194956,86  | 793984,59      | 13400972,27      |
| Acidifikace                   | AP            | kg SO <sub>2</sub> -Eq. | 24708,53     | 304,80         | 24403,73         |
| Eutrofizace                   | EP            | kg Phosphate-Eq.        | 448,77       | 32,17          | 416,60           |
| Sladkovodní ekotoxikita       | FAETP         | kg DCB-Eq.              | 3386,35      | 1111,17        | 2275,18          |
| Globální oteplování           | GWP 100 years | kg CO <sub>2</sub> -Eq. | 1398120,56   | 67993,53       | 1330127,03       |
| Humánní toxicita              | HTTP          | kg DCB-Eq.              | 89614,99     | 7916,13        | 81698,86         |
| Mořská ekotoxikita            | MAETP         | kg DCB-Eq.              | 613008745,85 | 14388945,39    | 598619800,46     |
| Úbytek startosferického ozonu | ODP           | kg R11-Eq.              | 0,13         | 0,01           | 0,12             |
| Tvorba fotooxidantů           | POCP          | kg Ethene-Eq.           | 1100,87      | 29,17          | 1071,70          |
| Terestrická ekotoxikita       | TETP          | kg DCB-Eq.              | 2456,18      | 56,78          | 2399,40          |

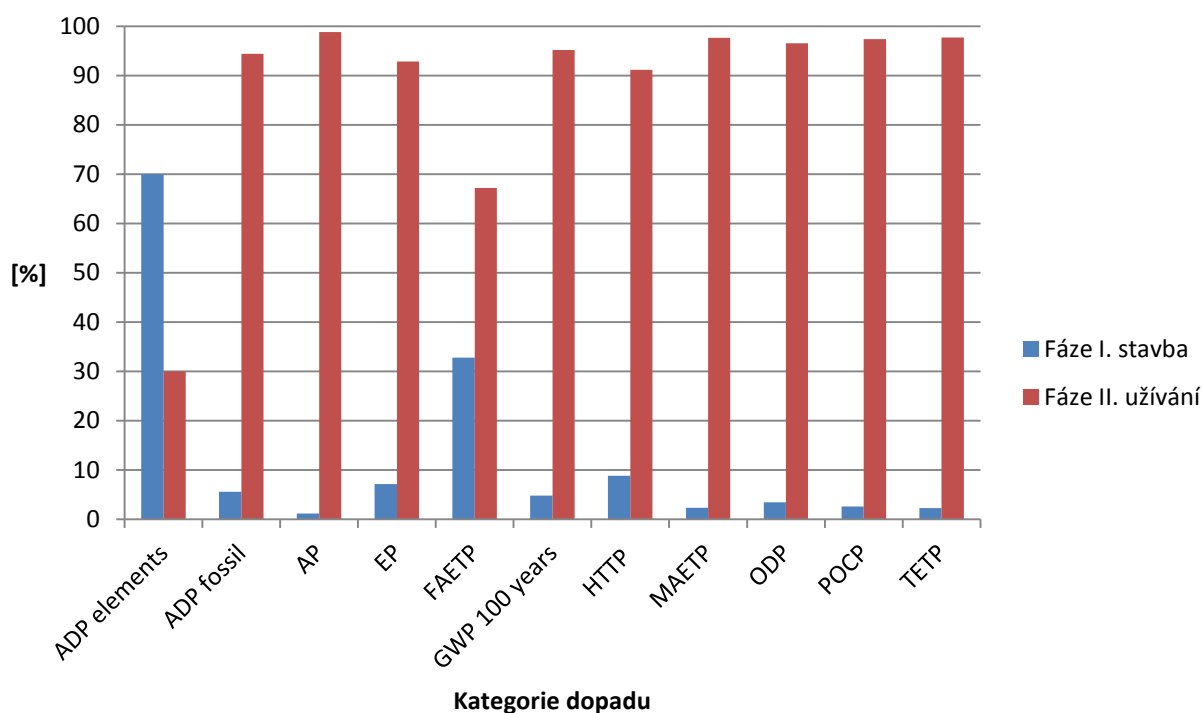
**Tabulka III** Charakterizační tabulka kategorií dopadu

| Kategorie dopadu              | Označení      | Indikátor kategorie     | Celkem | Fáze I. stavba | Fáze II. užívání |
|-------------------------------|---------------|-------------------------|--------|----------------|------------------|
| Úbytek abiotických zdrojů     | ADP elements  | kg Sb-Eq.               | 100    | 70,00          | 30,00            |
|                               | ADP fossil    | MJ                      | 100    | 5,59           | 94,41            |
| Acidifikace                   | AP            | kg SO <sub>2</sub> -Eq. | 100    | 1,23           | 98,77            |
| Eutrofizace                   | EP            | kg Phosphate-Eq.        | 100    | 7,17           | 92,83            |
| Sladkovodní ekotoxikita       | FAETP         | kg DCB-Eq.              | 100    | 32,81          | 67,19            |
| Globální oteplování           | GWP 100 years | kg CO <sub>2</sub> -Eq. | 100    | 4,86           | 95,14            |
| Humánní toxicita              | HTTP          | kg DCB-Eq.              | 100    | 8,83           | 91,17            |
| Mořská ekotoxikita            | MAETP         | kg DCB-Eq.              | 100    | 2,35           | 97,65            |
| Úbytek startosferického ozonu | ODP           | kg R11-Eq.              | 100    | 3,44           | 96,56            |
| Tvorba fotooxidantů           | POCP          | kg Ethene-Eq.           | 100    | 2,65           | 97,35            |
| Terestrická ekotoxikita       | TETP          | kg DCB-Eq.              | 100    | 2,31           | 97,69            |

**Tabulka IV** Charakterizační tabulka kategorií dopadu převedená na procenta

| celkem | Plyn  | Odpad | Elektřina | Pitná voda | ČOV   |
|--------|-------|-------|-----------|------------|-------|
| 30,00  | 2,03  | 1,35  | 0,72      | 22,59      | 3,31  |
| 94,41  | 18,85 | 0,43  | 17,46     | 57,18      | 0,49  |
| 98,77  | 0,83  | 0,30  | 25,76     | 71,52      | 0,36  |
| 92,83  | 7,31  | 2,86  | 17,88     | 50,66      | 14,12 |
| 67,19  | 2,70  | 0,16  | 8,84      | 31,79      | 23,70 |
| 95,14  | 14,70 | 4,33  | 16,85     | 53,40      | 5,86  |
| 91,17  | 1,84  | 0,26  | 23,01     | 65,48      | 0,58  |
| 97,65  | 0,18  | 0,02  | 26,13     | 70,73      | 0,60  |
| 96,56  | 0,24  | 0,12  | 25,53     | 70,34      | 0,32  |
| 97,35  | 2,32  | 0,41  | 24,61     | 69,52      | 0,49  |
| 97,69  | 3,16  | 0,13  | 22,11     | 72,01      | 0,28  |

**Tabulka V** Charakterizační tabulka kategorií dopadu převedená na procenta – užitná fáze



**Obrázek 4** Porovnání jednotlivých kategorií dopadu ve dvou fázích životního cyklu budovy v procentech

### 2.3.3.3 Analýza citlivosti

Zkusila jsem porovnat výsledky v případě, že by návrhová životnost nebyla 50 let, ale 100 let. Rozsah studie, hranice systému, funkce i materiálové toky zůstaly zachovány. Jediné co bylo

potřeba upravit, byly energetické toky ve fázi užívání, takže funkční jednotka se změnila na: zajištění bydlení čtyřčlenné rodiny na 100let.

Závěrem je, že i přesto, že životnost stavby byla dvakrát delší, výsledky zůstaly v podstatě stejné. Převaha negativních dopadů na životní prostředí v užitné fázi byla srovnatelná se studií, kde je použita návrhová životnost 50 let.

Druhou analýzou citlivosti jsem ověřila správnost výsledků ohledně úpravy pitné vody. Zaměnila jsem proces úpravy pitné vody v Želivce za proces v jiné srovnatelné vodárně. Ale výsledky přesto zůstaly stejně vysoké, čímž se mi potvrdil můj původní výpočet.

#### **2.3.4 Interpretace životního cyklu**

Ve studii byly zhodnoceny všechny procesy a toky, které významnou měrou přispívají k celkovému environmentálnímu dopadu.

Na základě výsledků provedené LCA studie můžeme jednoznačně určit, že provozní fáze životního cyklu je energeticky podstatně náročnější a má mnohem větší negativní dopady na životní prostředí, než fáze výstavby. Zajímavé je, že téměř u všech kategorií měla užitná fáze převahu přes 90%. Celkově byly největší dopady v užitné fázi způsobeny úpravou pitné vody, a to ve všech dopadových kategoriích. Analýza citlivosti nám obě tato tvrzení potvrdila.

Z těchto výsledků je zřejmé, že stavební sektor by se měl primárně zaměřit na omezení energetické spotřeby ve fázi provozu a společnost by se měla orientovat na šetření pitnou vodou. Jednou z možností jak toho dosáhnout je vývoj nových technologií k zachycení dešťové vody a její následné použití jako vody užitkové.

Do budoucna by bylo zajímavé vypracovat podobnou studii pro pasivní dům a porovnat výsledky.

Nejvíce zasaženou kategorií byla jednoznačně mořská ekotoxicita. Některé průzkumy ale ukazují, že to může být dáno příliš přísnými charakterizačními faktory. Průvodce Ecoinventu (Althaus et al., 2007) zmiňuje, že nejistý výsledek mořské ekotoxicity je způsoben nastavením příliš dlouhé doby setrvávání toxických látek v mořském prostředí.

### **3 Diskuse**

Výsledné hodnoty kategorií dopadu by pravděpodobně ve skutečnosti byly ještě větší, kdyby studie byla o něco přesnější a rozsáhlejší. Přesnějších výsledků by bylo dosaženo při zpracování LCA studie pro každý samostatný prvek a teprve na jejich základě posouzení celé budovy. Zvětšení rozsahu by znamenalo posunutí hranic systému tak, aby bylo zahrnuto více



jednotkových procesů. Jedná se zejména o údržbu konstrukcí a provoz pozemku. Pro potřeby této studie je však daný rozsah a přesnost dostačující.

Podstatné je také zmínit, proč výsledky obou fází vyšly v takovém nepoměru oproti jiným případným studiím. Důvodem je, že studií, které by hodnotily celý životní cyklus, není mnoho a ve většině z nich není započítána úprava pitné vody, která se právě v této studii podílí na environmentálních dopadech největší měrou.

Záměrem této studie však nebylo pouhé určení náročnější fáze, ale také ověření aplikovatelnosti metody LCA na tak komplexní systém jako jsou budovy. Výsledky práce ukázaly, že to možné je, přestože je zde stále několik těžko překonatelných problémů, jelikož budovy představují dynamický systém s mnoha neznámými.

Zhodnocení celého životního cyklu budov je náročné kvůli nedostatku informací o jejich budoucím vývoji. Z tohoto hlediska se nabízejí tři možná řešení. První se zakládá na předpokladu, že známe životnost jednotlivých materiálů a konstrukcí a stejně tak jejich recyklovatelnost. Díky tomu můžeme vypracovat teoretickou studii kompletního životního cyklu. Za druhé je možné studii LCA provádět průběžně a jednotlivé fáze během životního cyklu přidávat. Přestože tato metoda nejlépe popisuje realitu, pro praxi je téměř nevyužitelná. Poslední možností je zhodnocení pouze těch fází životního cyklu, jež odpovídají účelu studie. Tak tomu bylo i v tomto případě, kde byla úspěšně zodpovězena otázka náročnosti fáze výstavby oproti fázi provozní.

Lidský faktor je další z důvodů, proč posuzovat každou budovu jako unikátní proměnlivý systém podle svého účelu. Tato studie vycházela z předpokladu, že v rodinném domě navrženém ideálně pro čtyřčlennou rodinu opravdu čtyřčlenná rodina žije. Ovšem toto také nevystihuje realitu. Protože v úplně stejném domě může bydlet jediná osoba, stejně jako osmičlenná rodina. A je samozřejmé, že více lidí má větší spotřebu, a tudíž větší environmentální dopady. Na druhou stranu využívání velkého prostoru jedním člověkem je vysoce neefektivní a tedy také energeticky náročné.

Též by neměla být opomenuta databáze LCA. Přestože jsou LCA databáze rozsáhlé a kvalitní, tak jsou zpracované pouze pro jednotlivé velmi specifické prvky. A i přes jejich postupné rozšiřování je občas nutné nějaká data nahradit jinými podobnými, což může konečné výsledky zkreslit. Tyto databáze nejsou ani nijak sjednocené, a je proto otázkou, jestli by bylo dosaženo úplně stejných výsledků při použití různých databází.

## **4 Závěr**

Bylo zjištěno, že celkové výsledky dopadů na životní prostředí jsou dány převážně užitnou fází systému. Oproti tomu ovlivňuje fáze výstavby životní prostředí poměrně málo. Nejnáročnějším procesem z obou fází je úprava vody na pitnou.

Dále byly identifikovány ty části studie, které nejvíce ovlivňují výsledek. Je nutné se zaměřit hlavně na rozšíření hranic systému, volbu funkční jednotky, správné rozfázování životního cyklu a výběr softwaru.

## 5 Seznam informačních pramenů

ALTHAUS, Hans-Jörg, Christian BAUER, Gabor DOKA, Roberto DONES, Roland HISCHIER, Stefanie HELLWEG, Sébastien HUMBERT, Thomas KÖLLNER, Yves LOERINCIK, Manuele MARGNI a Thomas NEMECEK. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods: Data v2.0 (2007). *Swiss Centre for Life Cycle Inventories*, Rolf Frischknecht, Niels Jungbluth. Dübendorf, December 2007, No. 3, s. 1-22. Dostupné z: [http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/03\\_LCIA-Implementation.pdf](http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/03_LCIA-Implementation.pdf)

BRIBIÁN, Ignacio Zabalza, Alfonso Aranda USÓN a Sabina SCARPELLINI. Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a komplement for building certification. *Building and Environment*. 2009, roč. 44, č. 12, s. 2510-2520. ISSN 03601323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.05.001. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132309001188>

ČSN EN ISO 14040. *Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova*. Idt ISO 14040:2006. Praha: Český normalizační institut, 2006.

*Enslicbuilding: EnergySavingthroughPromotionofLifeCycleAssessment in Buildings* [online]. © 2007-2009 [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://circe.cps.unizar.es/enslic/texto/home.html>

ERLANDSSON, Martin a Mathias BORG. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services-todaypractice and development needs. *Building and Environment*. 2003, roč. 38, č. 7, s. 919-938. ISSN 03601323. DOI: 10.1016/S0360-1323(03)00031-3. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132303000313>

EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EVROPSKÉ UNIE. 2010/31/EU. *Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2010/31/EU: o energetické náročnosti budov*. Úřední věstník Evropské unie, 19. května 2010. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:CS:PDF>

FORSBERG, Anna, Fredrik VON MALMBORG, Sabina SCARPELLINI, Ignacio ZABALZA, Alfonso ARANDA, Eva LLERA a Sergio DÍAZ. Tools for environmental assessment of the built environment: The ENSLIC simplified method and guidelines. *Building and Environment*. 2004, roč. 39, č. 2, s. 223-228. ISSN 03601323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2003.09.004. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036013230300204X>

GOEDKOOPE, Mark. *ReCiPe* [online]. 2009 [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.lcia-recipe.net/>

HANUS, Robert, Jan KOUBSKÝ a Miroslav KRČMA. *Inovace výrobků a jejich systémů: Přehled metodiky analýzy inovačního potenciálu výrobků a služeb s diskusními otázkami*. Praha: Centrum inovací a rozvoje, 2004

JOLLIET, Olivier, Manuele MARGINI, Raphaël CHARLES, Sébastien HUMBERT, Jérôme PAYET, Gerald REBITZER a Ralph ROSENBAUM. IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2003, č. 8, s. 324-330. Dostupné z: <http://www1.sph.umich.edu/riskcenter/jolliet/Jolliet%202003.pdf>

LEE, Kanghee, Sungho TAE a Sungwoo SHIN. Development of a Life Cycle Assessment Program for building (SUSB-LCA) in South Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009, roč. 13, č. 8, s. 1994-2002. ISSN 13640321. DOI: 10.1016/j.rser.2009.01.002. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032109000033>

KOČÍ, Vladimír. *Posuzování životního cyklu Life Cycle Assessment - LCA*. Vyd. 1. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2009, 263 s. ISBN 978-80-86832-42-5.

KOČÍ, Vladimír. *Příručka základních informací o posuzování životního cyklu*. Praha: VŠCHT Praha, ETC Consulting, 2010.

MALMQVIST, Tove, Mauritz GLAUMANN, Sabina SCARPELLINI, Ignacio ZABALZA, Alfonso ARANDA, Eva LLERA a Sergio DÍAZ. Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines. *Energy*. 2011, roč. 36, č. 4, s. 1900-1907. ISSN 03605442. DOI:

10.1016/j.energy.2010.03.026. Dostupné z:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544210001453>

MITHRARATNE, Nalanie, Brenda VALE, Sabina SCARPELLINI, Ignacio ZABALZA, Alfonso ARANDA, Eva LLERA a Sergio DÍAZ. Life cycle analysis model for New Zealand houses: The ENSLIC simplified method and guidelines. *Building and Environment*. 2004, roč. 39, č. 4, s. 483-492. ISSN 03601323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2003.09.008. Dostupné z:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132303002191>

PEUPORTIER, B. L. P. Life cycle assessment applied to the komparative evaluation of single family houses in the French context. *Energy and Buildings*. 2001, č. 33. ISSN 03601323. S0378-7788(00)00101-8. Dostupné z:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778800001018>

REMTOVÁ, Květoslava. *Posuzování životního cyklu: Metoda LCA*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2003. ISBN 80-7212-232-0.

VERBEECK, G. a H. HENS. Life cycle inventory of buildings: A calculation method. *Building and Environment*. 2010, roč. 45, č. 4, s. 1037-1041. ISSN 03601323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.10.012. Dostupné z:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132309003060>

## 6 Seznam zkratk

|       |   |
|-------|---|
| ADI   | přijatelná denní dávka (angl. acceptable daily intake)  |
| ADP   | potenciál úbytku surovin (angl. abiotic depletion potential)                                    |
| AP    | potenciál acidifikace (angl. Acidification Potential)   |
| CML   | Centrum životního prostředí univerzity v Leidenu (hol. Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden) |
| ČOV   | Čistírna odpadních vod  |
| ČSN   | Česká státní norma  |
| EP    | potenciál eutrofizace (angl. Eutrophication Potential)  |
| EPD   | environmentální prohlášení o produktu (angl. Environmental Product Declaration)                 |
| Eq.   | ekvivalent  |
| ETP   | potenciál ekotoxicity (angl. ecotoxicity potential)   |
| ERA   | hodnocení environmentálních rizik (angl. Environmental risk assessment)                         |
| EU    | Evropská unie (angl. European Union)  |
| FAETP | potenciál sladkovodní ekotoxicity (angl. freshwater aquatic ecotoxicity potential)              |
| GaBi  | software pro zpracování studií LCA  |
| GWP   | potenciál globálního oteplování (angl. global warming potential)                                |
| HTP   | potenciál lidské toxicity (angl. human toxicity potential)                                      |
| ISO   | Mezinárodní organizace pro normy (angl. International Organisation for Standardisation)         |
| LCA   | posuzování životního cyklu (angl. Life Cycle Assessment)  |
| LCC   | náklady životního cyklu (angl. Life Cycle Costing)  |
| LCI   | inventarizace životního cyklu (angl. Life Cycle Inventory)                                      |
| LCIA  | hodnocení dopadů životního cyklu (angl. Life Cycle Impact Assessment)                           |
| MAETP | potenciál mořské ekotoxicity (angl. marine aquatic ecotoxicity potential)                       |
| ODP   | potenciál úbytku stratosférického ozonu (angl. Ozone layer depletion potential)                 |
| POCP  | potenciál vzniku troposférického ozonu (angl. photochemical ozone creation potential)           |
| TETP  | potenciál terestrické ekotoxicity (angl. terrestrial ecotoxicity potential)                     |
| TZB   | technické zařízení budov  |
| APE   | hodnocení alternativního produktu (angl. Alternative product evaluation)                        |
| EFD   | požadavek environmentální funkce (angl. Environmental functional demand)                        |

Příloha 1

Kolovraty (50)

GaBi 4 process plantReference quantities  
The names of the basic processes are shown.

